

Sisekaitseakadeemia

Päästekolledž

Alexey Vorobiev

VINGUGAASIANDUR GAASISEADMEGA

ELURUUMIDES

Lõputöö

Juhendaja:

Kadi Luht, MA

Kaasjuhendaja:

Alar Valge, MA

Tallinn 2019

ANNOTATSIOON

Sisekaitseakadeemia	Kaitsmine: juuni 2019
<p>Töö pealkiri eesti keeles: Vingugaasiandur gaasiseadmega eluruumides</p> <p>Töö pealkiri võõrkeeles: Carbon monoxide detector in the dwellings with gas appliance</p> <p>Käesolev lõputöö on kirjutatud teemal „Vingugaasiandur gaasiseadmega eluruumis”. Lõputöö eesmärgiks on selgitada välja vingugaasianduri efektiivne kasutuskõrgus gaasiseadmega eluruumis.</p> <p>Töö eesmärgi saavutamiseks püstitab autor järgmised uurimistöösanded: analüüsida vingugaasianduri tööd puudutavaid teoreetilisi lähtekohti; katsetada vingugaasianduri tööd erinevatel paigalduskõrgustel; hinnata teooriast ja praktikast tulenevaid parimaid lahendusi vingugaasianduri paigaldamiseks eluruumis. Töö eesmärgi saavutamiseks viiakse läbi kaks uuringut: müüdavate vingugaasiandurite ülevaade ning eksperimentaaluuring. Uuringute tulemuste põhjal autor teeb järeldused vingugaasianduri efektiivsemast paigalduskõrgusest.</p>	
Võtmesõnad: vingugaas, andur, mõju, hindamine	
Võõrkeelsed võtmesõnad: carbon monoxide, sensor, effect, estimation	
Säilitamise koht: Sisekaitseakadeemia	
<p>Töö autor: Alexey Vorobiev</p> <p>Olen koostanud lõputöö iseseisvalt. Kõik lõputöö koostamisel kasutatud teiste tööde autorite tööd, seisukohad, kirjalikest allikatest ja mujal allikates saadud info on nõuetekohaselt viidatud. Olen nõus oma lõputöö avaldamisega elektroonilises keskkonnas.</p> <p>Allkiri:</p>	
<p>Vastab lõputöö nõuetele:</p> <p>Juhendaja: Kadi Luht Allkiri:</p>	
<p>Vastab lõputöö nõuetele:</p> <p>Kaasjuhendaja: Alar Valge Allkiri:</p>	
<p>Kaitsmisele lubatud</p> <p>Kolledži direktor: Häli Allas Allkiri:</p>	

SISUKORD

SISSEJUHATUS	4
1.VINGUGAAS JA VINGUGAASIANDURI TÖÖPÕHIMÕTTED.....	7
1.1. Vingugaas ja selle olemus	7
1.2. Vingugaasiandurid.....	9
1.3. Vingugaasianduri paigaldamise ja hooldamise põhimõtted	15
1.4. Ülevaade määruse 87 muudatuse eelnõust	18
2.VINGUGAASIANDURI EFEKTIIVSE KASUTUSKOHA ANALÜÜS	20
2.1. Uurimismetoodika	20
2.2. Vingugaasiandurite turuülevaade	22
2.3. Vingugaasianduritega eksperimendi käik.....	23
2.4. Eksperimendi tulemused	25
3. JÄRELDUSED	29
KOKKUVÕTE.....	32
SUMMARY	33
VIIDATUD ALLIKATE LOETELU	34
Lisa 1. Vingugaasiandurite turuülevaade	38

SISSEJUHATUS

Vingugaas on värvitu ja lõhnatu gaas, mis tekib süsinikku sisaldava kütuse, näiteks propaani, maagaasi, bensiini, õli, kivisöe ja puidu, mittetäielikul põlemisel. Kuna gaas on lõhnatu ja värvitu, on selle oht inimesele kordades suurem, kui paljude teiste gaaside puhul. Vingumürgistus tekib pärast vingugaasi sissehingamist, mis vähendab vere võimet siduda hapnikku, jättes organismi organid ja rakud hapnikupuudusesse. (Braubach, *et al.*, 2013, p. 115)

Süsinikmonooksiid on tahtmatu mürgistuse peamine põhjus ja kolmas kõige sagedasem juhusliku surma põhjus USAs ning see põhjustab paljusid surmajuhtumeid ka Euroopa riikides. Peamised allikad on veesoojendid, puuküttega ahjud ja kaminad. Sloveenias on ebaloomulikul teel hukkamise peamine põhjus samuti süsinikmonooksiidi mürgistus, mis on oluliselt tõusnud, kui kasutusele võeti puidugraanulite ladustamine, sest pelletite keemiline lagunemine leiab aset juba toatemperatuuril. (Golob *et al.*, 2018, p. 143)

Eestis on see probleem aktuaalne. Päästeametil tuleb igal nädalal reageerida vingugaasiga seotud väljakutsetele nii gaasiküttega kui ka tahke kütusega köetavatesse kodudesse. 2018. aasta 22. novembri seisuga on Päästeamet reageerinud 446 gaasiga seotud väljakutsele (sh vingugaasisündmused), mida on rohkem kui 2017. aastal kokku, ning millest 71% toimus eluhoonetes. 2017. aastal käis Päästeamet 416 gaasiga seotud väljakutsel ning 2016. aastal 403 väljakutsel. (Päästeamet, 2018)

Alates 1. jaanuarist 2018 on vingugaasiandur kohustuslik paigaldada sellistesse eluruumidesse, kus on korstnaga ühendatud gaasiseade (Tehnilise Järelevalve Amet, s.a). Selline nõue võeti vastu majandus- ja taristuministri 2017. aasta märtsis tehtud muudatusega määrusele nr 87 „Küttegaasi kasutavale gaasipaigaldisele, selle ehitamisele ja gaasiseadme paigaldamisele ning gaasiballooni ladustamisele ja gaasianuma täitmisele esitatavad nõuded“. Eestis on kasutusel mitme tootja vingugaasiandureid. Erinevatel asutustel, ettevõtetel, institutsioonidel ja tootjatel on erinevad viisid andurite paigaldamiseks. Päästeamet soovib vingugaasianduri paigaldada sama toa seinale, kus asub ohuallikas, ja 1–3 meetri kaugusele allikast

ja umbes 15–30 cm kaugusele laest. Lakke paigaldatav vingugaasiandur peab asuma lähimast seinast vähemalt 30 cm kaugusel. Samuti soovitab Päästeamet paigaldada vingugaasianduri ohuallikata ruumides hingamiskõrgusele ehk elutoas pea kõrgusele ja magamistoas umbes padjakõrgusele.

Vingugaasiandurite tootjad annavad erinevaid juhiseid anduri paigaldamiskõrguse kohta: mõned soovitavad paigaldada 20 cm kõrgusele põrandapinnast, teised aga mitte madalamale kui 150 cm põrandast.

Käesoleva töö **uurimisprobleem** on: Millisele kõrgusele paigaldada vingugaasiandur gaasiseadmega ruumis?

Uurimisprobleemile lahenduse otsimiseks esitatakse järgmised **uurimisküsimused**:

- Milline on vingugaasi mõju inimesele?
- Milline on vingugaasiandurite tööpõhimõte?
- Milline on vingugaasianduri efektiivne kasutuskõrgus gaasiseadmega ruumis?

Tuginedes eeltoodule on lõputöö **eesmärgiks** selgitada välja vingugaasianduri efektiivne kasutuskõrgus gaasiseadmega eluruumis.

Töö eesmärgi saavutamiseks püstitab autor järgmised **uurimistöö ülesanded**:

- analüüsida vingugaasi erineva kontsentratsiooni mõju inimesele;
- analüüsida vingugaasianduri tööd puudutavaid teoreetilisi lähtekohti;
- analüüsida Eestis müügis olevaid vingugaasiandureid;
- katsetada vingugaasianduri tööd erinevatel paigalduskõrgustel;
- hinnata teooriast ja eksperimendi tulemusest parimaid lahendusi vingugaasianduri paigaldamiseks eluruumis.

Töö uurimisküsimustele vastuste leidmiseks ja uurimisülesannete lahendamiseks kasutatakse eksperimentaaluuringut, mille eesmärk on teha järeldusi põhjuse-tagajärje seoste kohta. Uuringuks vajalikku informatsiooni kogutakse ettevalmistatud stsenaariumi alusel. Eesmärk on koguda teavet uuritavate objektide kohta uurija valitud ja loodud erinevates situatsioonides. (Research Methods Knowledge Base, 2014; Creswell & Plano Clark, 2011, pp. 78–168)

Töö koosneb kolmest peatükist. Esimeses teoreetilises peatükis käsitletakse vingugaasi olemust, kuidas ta tekib, miks ta on ohtlik ning kuidas ta mõjub inimesele. Samuti vaadeldakse vingugaasiandurite tööpõhimõtteid puudutavaid teoreetilisi lähtekohti.

Teises empiirilises peatükis kirjeldatakse katseid paigaldades vingugaasianduri erinevatele paigalduskõrgustele gaasiseadmega ruumis ning antakse ülevaade Eesti turul müüdavatest vingugaasianduritest.

Kolmandasse peatükki koondab autor tehtud katsete tulemused ning teeb järeldused vingugaasianduri efektiivse paigalduskõrguse kohta eluruumis.

1.VINGUGAAS JA VINGUGAASIANDURI TÖÖPÕHIMÕTTED

1.1. Vingugaas ja selle olemus

Süsinikoksiidi saadakse tööstuslikult kütuste gasifitseerimisel. See kuulub rea tööstuslike põlevate gaaside koostisesse, sisaldub kõrgahju-, ahju-, šahti-, tunneligaasides ning autode heitgaasides. Majapidamise tingimustes tekib vingugaas kodustes ahjudes kasutatava kütuse mittetäielikul põlemisel. Süsinikoksiidi kasutatakse ka keemiatööstuses atsetooni, metüülpiirituse ja metaani sünteesiks. (Тристенъ, 2010, с. 99)

Täiskasvanud inimese mürgistus vingugaasiga saabub, kui süsinikoksiidi kontsentratsioon õhus on üle 85–170 ppm . Süsinikoksiid (2–5 tunni jooksul, kui selle kontsentratsioon õhus on 350–520 ppm) kahjustab tõsiselt inimese hapnikuga varustatust. Laste puhul kulgeb mürgistus raskemalt. See on tingitud hingamisteede limaskestade ning hematoentsefaalse barjääri suuremast läbitavusest ning elektrolüütide tasakaalu labiilsusest. (Ежова, 2002, с. 560)

Vingugaasil on võime siduda vere hemoglobiiniga 300 korda aktiivsemalt kui hapnikul, mistõttu moodustab see hapnikust kiiremini karboksühemoglobiini ja hemoglobiin ei ole võimeline hapnikku organismis edasi kandma. Piisab 1-protsendilisest süsinikoksiidi sisaldusest õhus, et karboksühemoglobiini tase veres tõuseks kuni 65-protsendini, st tasemeni, mis on surmav (vt Tabel 1).

Tabel 1. Karboksühemoglobiin veres ja karboksühemoglobiini taseme tähtsus (Raub, *et al.*, 2000; autori koostatud)

CO sisaldus õhus		COHb sisaldus veres	Tõlgendamine, tunnused ja sümptomeid
%	ppm		
0	0	0	Mittesuitsetaja tase
0,001	10	2	Suitsetaja tase. Juhtimisoskused halvendatud, väheneb koormustaluvus mittersuitsetajatel
0,007	70	10	Peavalu, väsimus
0,012	120	20	Tugev peavalu, iiveldus, oksendamine, pearinglus, ähmane nägemine, minestus

0,022	220	30	Iiveldus, oksendamine, minestamine, suurenenud südame- ja hingamissagedus, neuroloogiline kahjustus
0,035-0,052	350-520	40-50	Kooma, krambid, kardiovaskulaarne ja neuroloogiline kahjustus
0,080-0,122	800-1220	60-70	Kooma, krambid, kardiorespiratoorne depression, bradükardia ehk südameaeglus, raske hüpotensioon süstoolse rõhuga alla 90 mmHg
0,195	1950	80	>70 Hingamispuudulikkus ja surm

*COHb = karboksühemoglobiin

Vingugaasi mürgistuse korral ei teki üksnes hapnikupuudus vaid kannatab ka aju, mis väljendub väga tugeva peavaluna, ning süsinikoksiid mõjub toksiliselt kudede rakkudele. Kui karboksühemoglobiini kontsentratsioon veres on kuni 50%, saabub teadvusekaotus ning kloonilised ja seejärel toonilised krambid. Raske vingugaasimürgituse tüsistuseks pärast tervenemist võivad olla psüühikahäired. (Тристенъ, 2010, с. 99)

Kerge vingumürgistuse korral täheldatakse peavalusid lauba ning meelekohtade piirkonnas. Lapsed kaebavad valu kõhus ja üldist nõrkust. Need nähud võivad mööduda ilma ravita, kui tuua laps gaasi mõjupiirkonnast välja. Kuid kui süsinikoksiid jätkab organismi sisenemist koos sissehingatava õhuga, tekivad iiveldus, oksendamine, lihasnõrkus, hirmutunne, rahutus, tugev pearinglus, lühiajaline teadvusekaotus. Edasise süsinikoksiidi mõju korral kaotab laps täielikult teadvuse ning langeb koomasse. (Войтович, 1992, с. 36)

Vingugaasi mürgistuse saanud inimeste meditsiinilise läbivaatuse andmed on järgmised: tekivad hingamisraskuste tunnused, nahk ja nähtavad limaskestad on hüperemilised, liigutuste koordinatsioon on häiritud, kuulmine on nõrgenenud, inimene on erutatud. Roosa näovärv on tingitud karboksühemoglobiini sisaldusest veres. Keskmise ja raske mürgituse korral täheldatakse pidevat oksendamist, lihasnõrkust, teadvusekaotust, kloonilisi ja seejärel toonilisi krampe, kehatemperatuur kerkimist kuni 40-kraadini. Pärast piinarikkaid kloonilisi ja toonilisi krampe saabub lihaste lõdvenemine, lapse nahk muutub kahvatuks, areneb kollaps, hingamine muutub pinnapealseks, tekib silmalaugude ja keele treemor,

enamusel juhtudest saabub surm hingamiskeskuse halvatus, kopsuturse ja peaaegu düstroofiliste muutuste tulemusena. (Войтович, 1992, с. 36)

Pärast tervenemist võivad esineda psühhoosid koos foobiatega ja hallutsinatsioonidega, tihti areneb välja Parkinsoni tõbi akineesiaga, maskitaolise näoga, skandeeritud kõnega. Inimese jäsemete liigutuste koordinatsioon on häiritud, välja arenevad patoloogilised refleksid, neuriidid, peaaegu verejooksud, nägemisnärvide atroofia. (Войтович, 1992, с. 36)

Kõige tundlikumad on vingumürgituse suhtes lapsed ning hingamiselundite ja vereringehaigusi põdevad inimesed ning vanurid. Isegi väike kogus seda gaasi võib osutada ülimalt ohtlikuks. Seetõttu vingugaasimürgituse kahtluse korral tuleks võimalikult kiiresti ruumist lahkuda ja värske õhu kätte minna. Rahuliku ja sügava hingamise järel mööduvad kergemad mürgitusnähud mõne aja pärast. Tugevama mürgituse korral tuleb kutsuda kiirabi, sest kannatanu vajab täiendavat hapnikku. Sissehingatavas õhus on hapnikku mitte üle 22%, et hilisemaid võimalikke tervisekahjustusi vältida, jääb sellest väheseks. Meedikute poolt antakse kannatanule organismi hapnikunälja kiireks kustutamiseks hingata 100% hapnikku. Tugeva vingumürgituse hilisemaks tagajärjeks võivad olla kroonilised närvisüsteemiga seotud häired. (16662, s.a.)

1.2. Vingugaasiandurid

Vingugaasist põhjustatud mürgistused tekivad siis, kui see lõhnatu, värvitu ja maitsetu gaas lekib kütusepõletusseadmetest välja ja jääb suletud ruumidesse. Vingugaasianduri paigaldamine on kõige tõhusam samm majapidamiste kaitsmiseks. Andurid on tõhusad, et hoiatada elanikke süsinikoksiidi olemasolu eest ja vähendada seeläbi vingumürgituse tunnustega inimeste arvu. (McKenzie, *et al.*, 2017, p. 24)

Parameetreid, mis on tunnuseks inimest ohustavale olukorrale, on mitmeid. Selliste parameetrite hulka kuulub lõhn. Lõhn on õhus leiduvate lenduvate aroomaatsete ainete spetsiifiline tunnetus. Teatud lenduvate ainete (lõhnade) olemasolu õhus võib viidata inimese turvalisusele, tervisele ja elule avalduvale potentsiaalsele ohule.

Lenduvad ained võivad kujutada endast nii otsest kui ka kaudset ohtu. Otseks ohuks inimese turvalisusele võib lugeda toksilisi või plahvatusohtlikke gaase, mis mõjuvad inimese organismile erineva raskusastmega lühikese ajavahemiku jooksul, mõnikord isegi hetkega (pearinglus, joove, mürgistus, enneaegne surm jms). Kaudselt ohuks võib lugeda gaase, mis on kantserogeenseteomadustega, kahjustades inimese organismi pikkade ajavahemike möödudes (geneetilised muudatused, halvavoomulised kasvaja jms). Mõnedel gaaside gruppidel on selged omadused, nagu iseloomulik lõhn või värv. Kuid on gaaside grupe, mida on inimesel võimatu näha või tunda isegi maksimaalselt lubatud kontsentratsiooni korral õhus: vingugaasid, süsivesinikgaasid, piirituseaurud, osoon, ammoniaak, bensool, vesiniksulfiid. (Афанасиев, *et al.*, 2016, c. 2)

Inimeste elu on pikka aega kujundanud väliskeskkonnast meelte abil saadav informatsioon. Lõhnareseptorite abil määravad inimesed ja loomad lõhna olemasolu õhus ning võivad selle identifitseerida, lähtudes oma teadmistest ning kogemusest. Kuid kaugelki mitte kõik lõhnad ning maksimaalselt lubatud kontsentratsioonid ei ole lõhnareseptorite abil tuvastatavad, sealhulgas ohtlikud ained (nt vingugaas). (Афанасиев, *et al.*, 2016, c. 3)

Tänapäeval on aga olemas seadmed — gaasianalüsaatorid ehk „elektroonilised ninad“ —, mis on võimelised tuvastama erinevaid lenduvaid gaase. Sellise seadme peamiseks elemendiks on andur (sensor). Sellest, millist sensorit on seadme valmistamisel kasutatud, sõltuvad kõik mõõteseadme edasised karakteristikud ning selle efektiivsus. Andureid saab klassifitseerida järgmiste tunnuste alusel (Афанасиев, *et al.*, 2016, c. 3):

- tööpõhimõte,
- määratav aine (või ainete spekter),
- kontsentratsiooni tuvastamise aeg,
- piirkontsentratsioonid,
- tööaeg,
- puhastamise aeg pärast lõhna avastamist,
- kasutusperiood,
- gabariidid,
- maksumus,

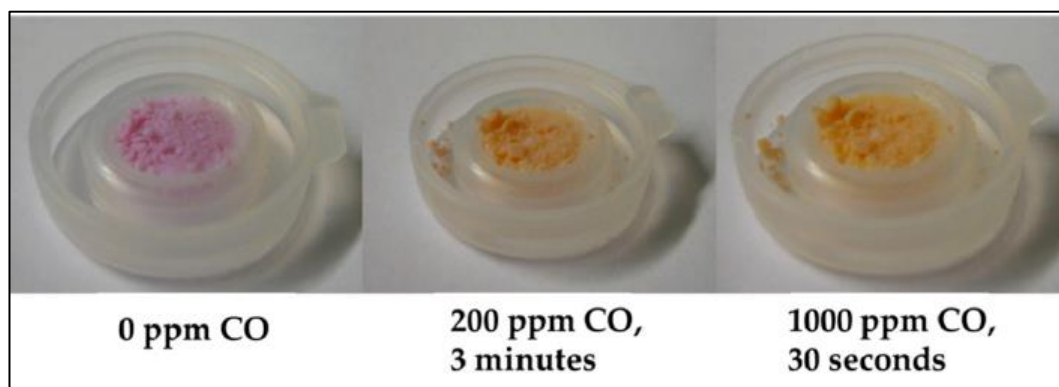
- tootja.

Anduri **tööpõhimõte** on üks selle olulisemaid omadusi, kuna sellest sõltub määratavate ainete spekter, määramise aeg, piirkontsentratsiooni, maksumus jm parameetrid. Tööpõhimõtte järgi klassifitseeritakse andureid järgmiselt: optilised (infrapuna), termokeemilised (katalüütilised), pooljuhtivad, fotoioniseerivad, elektrokeemilised. (Афанасиев, *et al.*, 2016, c. 5) Vingugaasi tuvastamiseks on peamiselt kasutusel optilis-keemilise ja elektrokeemilise tööpõhimõttega andurid. Järgnevalt kirjeldatakse lühidalt nende tööpõhimõtteid.

Optilis-keemilised vingugaasiandurid

Andur koosneb kemikaaliga värvitud plaadist, mis muudab vingugaasiga kokkupuutel värvi. Näiteks Pannek *et al.* (2018) tehtud eksperimendid näitavad (joonis 1) ränidioksiidgeeli värvimuutusi enne ja pärast vingugaasiga kokkupuutumist. Pärast vingugaasi eemaldamist värvus taastus. (Pannek, *et al.*, 2018)

Schmitt *et al.* (2018) on välja toonud mõned näited vingugaasi toimel värvi muutvatest ainetest: molübdeeni, roodiumi ja mõningate metallide (tsink, raud) ühendid.

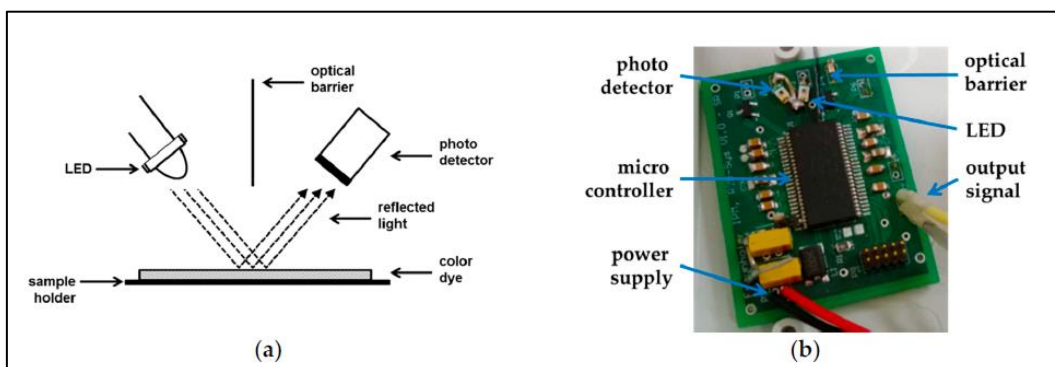


Joonis 1. Ränidioksiidi geeli värvimuutused vingugaasiga kokkupuutel (Pannek, *et al.*, 2018)

Optilised andurid on ette nähtud kvalitatiivseks mõõtmiseks, mistõttu ei ole nad väga täpsed, kuid nende lihtsa ehituse tõttu on võimalik neid toota suhteliselt odavalt. Tööpõhimõttelt eristatakse kahte varianti.

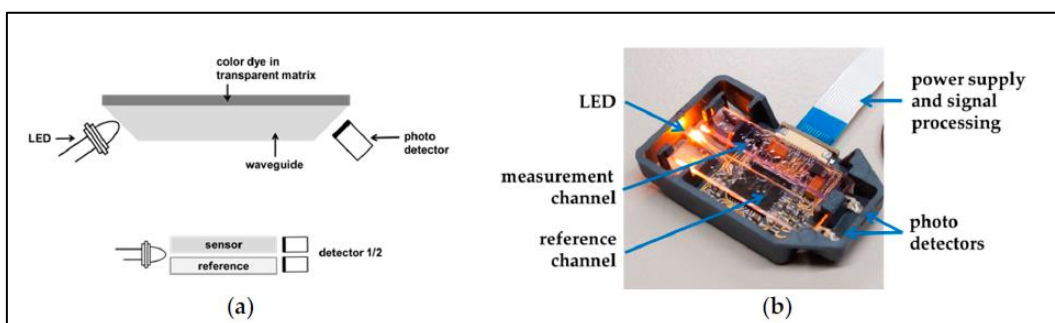
Peegelduse (murtud kiire) põhimõttel töötavad andurid, mille puhul valgus suunatakse vastava ainega kaetud kilele, kust see peegeldatakse vastuvõtjasse.

Värvi muutust käsitletakse vingugaasi tuvastamisena. Joonisel 2 on näidatud kiire otse vastuvõtjasse liikumise vältimiseks kasutatud barjääri (Pannek, *et al.*, 2018).



Joonis 2. Barjääri kasutamine kiire otse vastuvõtjasse liikumise vältimiseks (Pannek, *et al.*, 2018)

Valguslaine juhtimise abil töötavad andurid (joonis 3), mille puhul valgus suunatakse vastava ainega kaetud kilele ning kasutades valguslaine juhtimist, peegeldatakse seda korduvalt kuni see jõuab vastuvõtjani ning gaasiga reageerimine toob esile muudatused laines. (Pannek, *et al.*, 2018)



Joonis 3. Valguslaine juhtimise abil töötavad andurid (Pannek, *et al.*, 2018)

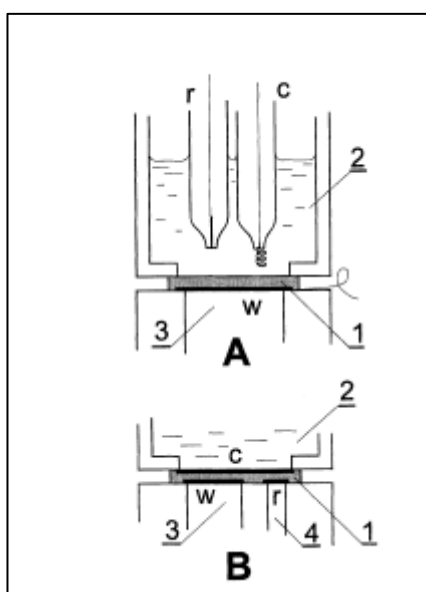
Elektrokeemilised andurid.

Sellised andurid võimaldavad määrata gaaside kontsentratsiooni lahuse elektrijuhtivuse väärtuse alusel. Sellist tüüpi andureid kasutatakse toksilise gaasi avastamiseks (vesinik, fosfiin, ammoniaak, vingugaas, vesinikoksiid, lämmastikoksiid, kloor, vesiniksulfiid jt) tööstuslikes protsessides. Gaasi kontsentratsiooni määramine toimub voolu elektrokeemilise mõõtmise põhimõttel. Elektroodi peal toimub elektrokeemilise oksüdeerumise protsess. Vool, mis tekib

tuvastatava gaasi reaktsiooni käigus, on otseselt võrdeline gaasi kontsentratsiooniga. (Афанасиев, *et al.*, 2016, c. 5)

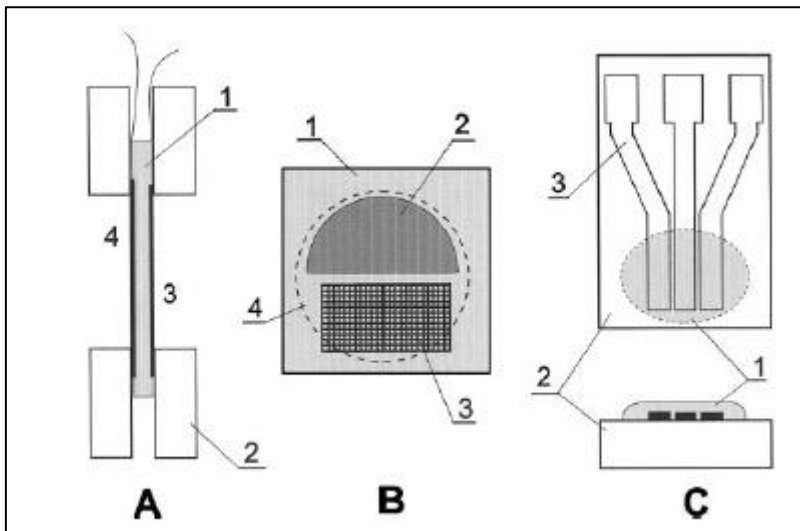
Elektrokeemilised vingugaasiandurid on kõige levinumad, kuid nende puuduseks on üsna kõrge hind ja lühike tööiga, sest gaasireaktsioon kulutab elektrolüüti (Pannek, *et al.*, 2018).

Eristatakse vedela ja tahke elektrolüüdiga andureid. Vedela elektrolüüdiga andurites asub indikaatorina kasutatava tahke polümeermembraani üks pool kokkupuutes ohuallikaga ruumi õhuga ja teine on kokkupuutes elektrolüüdilahusega, milles on võrdlus-loendurelektroodid (joonis 4.A), või selliselt, et indikaator ja võrdluselektrood paiknevad samal pool membraani ja loendurelektrood teisel pool kas elektrolüüdi lahuses või sellega niisutatud keskkonnas (geelis) (joonis 4.B.) (Opekar & Štulík, 1999, p 156)



Joonis 4. Vedela faasiga andurite tööpõhimõte. Milles tähised r, c, w – võrdlus, loendus ja tööelektrood. (1) spe membraan (2) elektrolüüdi lahus (3) avastamisruum (4) võrdlusruum koos võrdlusainega. (Opekar & Štulík, 1999, p 156)

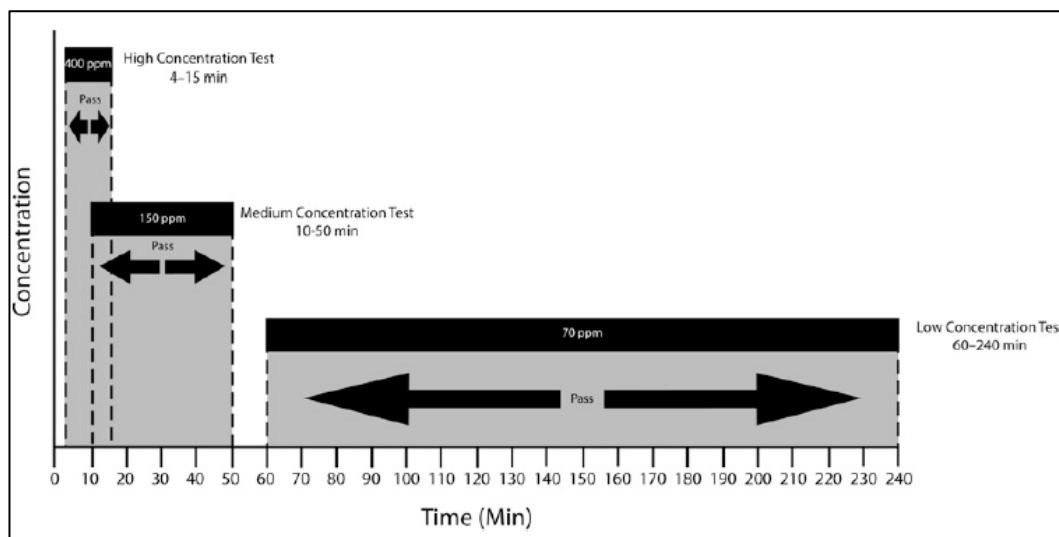
Tahke faasiga andurite lihtsaim lahendus on kalvaanielement, milles indikaatorelektrood on avatud testitavale gaasile ja loenduselektrood pannakse võrdlusainesse. Joonisel 5.A on kujutaud lahendus, kus tahke polümeermembraani üks pool on avatud testruumile ning teisel poolel on võrdluskeskkond. Indikaatorelektroodil ja elektronid kaastakse elektrokeemilisse reaktsiooni loenduselektroodil. (Opekar & Štulík, 1999, p 158)



Joonis 5. Tahke faasiga andurid: (A) ja (B) kasutavad tahke polümeeri membraani, (A) anduri opereerib kui kalvaanielement: (1) membraan (2) anduri hoidja (3) testkeskkond (4) võrdluskamber. (B) amperomeetiline süsteem: (1) membraan (2) referntselektrood (3). (Opekar & Štulík, 1999, p 158)

Oluline kriteerium anduri soetamisel on seotud vooluallikaga. Hetkel kättesaadavad CO-andurid on kas patarei- (aku) või võrgutoitega. Tulenevalt vooluallikast on vajalik vahetada patareisid või tuleb andur välja vahetada akude tööea lõppemisel.

Lisaks toiteallikale on kriitilise tähtsusega anduri tööiga, mis on seotud tema tööpõhimõttega. Ryan ja Arnold (2011) tegid katsed 30 kasutuses oleva anduriga, millest vaid 17 (57%) pidasid vastu kõik kolm katset: pikaajaline madal kontsentratsioon, keskmine kontsentratsioon ja kõrge kontsentratsioon. Liiga vara, liiga hilja või üldse mitte rakendunud andur eemaldati edasisest uuringust. Vingugaasianduri töös on oluline, et ta suudaks määrata ohtlikult kõrge vingugaasi sisalduse, aga ka pikaajaliselt mõjuva madala vingugaasi kontsentratsiooni (joonis 6). (Ryan & Arnold, 2011, p. 16)



Joonis 6. Vingugaasi aja ja kontsentratsiooni testpiirid (Ryan & Arnolt, 2011, p. 16)

Selleks, et tagada anduri kasulikkus on kriitilise tähtsusega seadme asukoht ja keskkonnatingimused, sealhulgas temperatuur, õhuniiskus, teiste segavate gaaside olemasolu (nt vesinik, lämmastik, oksiidid), mis võivad samuti aja jooksul muutuda ebastabiilseks. (Raub, *et al.*, 2000, pp 1-14)

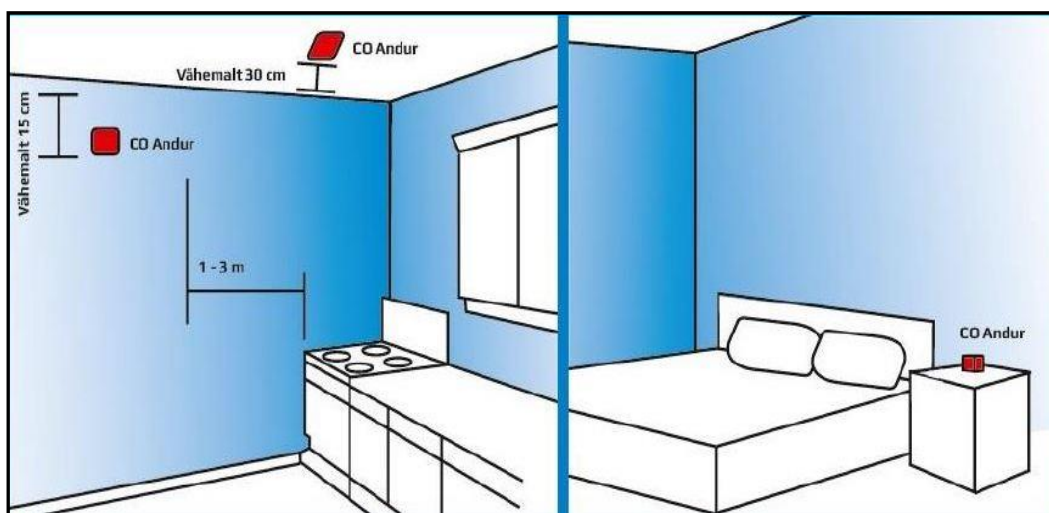
1.3. Vingugaasianduri paigaldamise ja hooldamise põhimõtted

Vingugaasiandur on kohustuslik paigaldada eluruumidesse, kus on korstnaga ühendatud gaasiseade, näiteks: vannitoad või köögid kuhu on paigaldatud gaasiveesoojendid, gaasikatlad. On mõistlik vingugaasiandur paigaldada kõikidesse eluruumidesse, kus asub põlemisprotsessiga seotud seade, nagu näiteks puukütell toimiv ahi, kamin, pliit või gaasiboiler. Anduri paigaldamine on vabatahtlik siis, kui tehniliste abinõudega on välditud vingugaasi teke ja eluruumi sattumine, näiteks kui gaasiseadme põlemisõhk võetakse otse välisõhust ning põlemisgaasid juhitakse samuti otse selleks ettenähtud korstna kaudu välisõhku. (Päästeamet, 2019)

Vingugaasianduri tööpõhimõte seisneb selles, et ta annab märku vaid siis, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus hakkab lähenema tasemele, mis on ohtlik inimese tervisele. Üks vinguanur on mõeldud kasutamiseks ühes ruumis, sest seade näitab vaid anduri juures leviva CO taset. (Päästeamet, 2019)

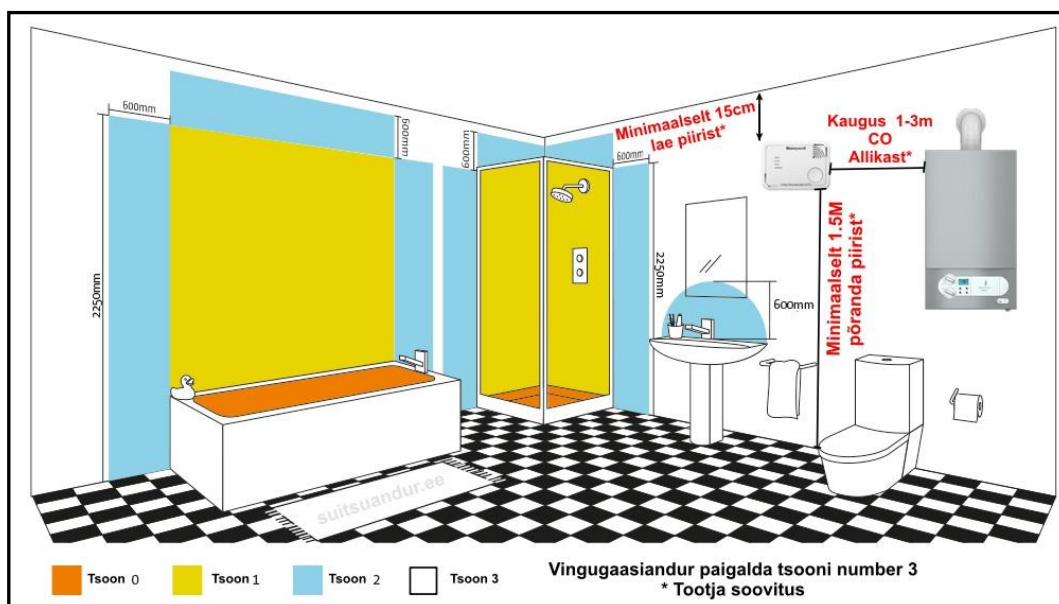
Kindlasti ei tohi andureid paigaldada liikumatu õhuga kohtadesse (laenurkadesse) või uste ja akende juurde, kus õhu liikumine on väga kiire. Andur ei tohiks olla suurte temperatuurikõikumiste ega niiskuse käes. Ülemäärane kuumus või külm võib esile kutsuda anduri rakendumise ning niiskus võib mõjutada reageerimisega. (Raub, *et al.*, 2000, pp 1-14)

Vingugaasianduri paigaldamisel tuleb järgida tootjapoolseid juhiseid. Seade paigaldatakse 1-3 meetri kaugusele vingugaasi tekitajast, soovituslik on andur paigaldada ohuallikaga samasse ruumi seinale umbes 15-30cm lae piirist, lakke paigaldatav vingugaasiandur peab asuma lähimast seinast vähemalt 30cm kaugusel (joonis 7). Andur ei tohiks asuda ventilatsioonisüsteemide ja õhulõõride lähedal. Ruumides, kus puuduvad ohuallikad, soovitatakse vingugaasiandur paigaldada n-õ hingamiskõrgusele ehk elutoas tasemele, kus on inimese nägu diivanil istudes, magamistoas umbes padjakõrgusele, lastetoas laste mängimise ja liikumise kõrgusele. (Balti Tuleohutus OÜ, s.a)



Joonis 7. Vingugaasianduri paigaldamine (Päästeamet, 2019)

Vingugaasianduri paigaldamisel vannituppa on soovituslik kasutada andurit, mis vastab IP44 tasemele. IP44 tagab pritsmekindluse, mis tähendab, kui andurile satuvad üksikud veepiisad, siis andur töötab edasi. Vannituppa paigaldades tuleb siiski meeles pidada, et seade ei ole veekindel ja seda ei tohi paigaldada otseste veepiiskade lähedusse. Samuti tuleks peale duši all või vannis käimist ruum tuulutada, sest kõrge õhuniiskus mõjub kõikidele elektroonikaseadmetele halvasti. Andur paigalda ca 15cm lae piirist (joonis 8). (Balti Tuleohutus OÜ, s.a)



Joonis 8. Vingugaasianduri paigaldamine vannituppa (Päästeamet, 2019)

Vingugaasiandurit ei paigaldata (Päästeamet, 2019):

- hoonest välja;
- kapi alla;
- kus võib koguneda mustus ja tolm, ja ummistada seadme anduri;
- otse kraanikausi või pliidi kohale;
- kus õhuvoolusignaatori juurde võib olla takistatud kardinatega või mööbli tõttu;
- kus temperatuur langeb alla 10 kraadi või tõuseb üle 40 kraadi;
- kus signaalsaatoreid võib kergesti lööke saada või muul viisil kahjustada.

„Vingugaasianduri töökorras olekut peab regulaarselt kord kuus (soovitavalt iga nädal) testima vajutades testnuppu ning seda aeg-ajalt kogunenud tolmu ja muust mustusest tolmuimeja pehme harjaga puhastama. Piiksuv signaal kinnitab seadme töökorras olekut. Vingugaasianduri toiteallikaks on patareid – nende tühjenemisest annab märku katkendlik regulaarne helisignaal, mis tähendab, et patarei tuleb kohe vahetada“. (Päästeamet, 2019)

1.4. Ülevaade määruse 87 muudatuse eelnõust

„2016.aasta septembris majandus- ja taristuminister Kristen Michal allkirjastas määruse 87 muudatust, mis teeb kohustuslikuks vingugaasianduri paigaldamise ruumidesse, kus on välise ventilatsioonita gaasiseade. Määruse muutmise ajendiks on 2016. a alguses gaasi kasutamisel toimunud surmaga lõppenud õnnetused. Nende õnnetuste läbivaks põhjuseks oli gaasiseadme tööks vajaliku õhuvahetuse puudulikkus ja sellest tulenenud vingugaasi teke ning selle ruumiõhku sattumine. Õhuvahetuse puudulikkus oli tingitud gaasiseadmete asjatundmatust paigaldamisest, gaasiseadme ja selle tööks vajalike süsteemide korrashoiukohustuse eiramisest, ehitises tehtud ümberehitamisest või muudest ümberkorraldustest. Nii nagu ka tahkekütuse põlemisprotsessiks, on ka gaasiseadme ohutuks tööks vaja piisavas koguses põlemisõhku ja põlemisgaaside eemaldamist. Kui põlemisprotsessiks ei ole piisavalt põlemisõhku, on tagajärjeks kütuse ebatäielik põlemine, mille üheks kõrval saaduseks on vingugaas“ (Majandus- ja taristuminister, 2016).

Määruse 87 muutmise seletuskirja järgi puuduvad alternatiivsed abinõud, mis tõhusalt välistaks õnnetuste tekkepõhjuseid (asjatundmatuid ümberehitusi, täiendavate ventilatsiooniseadmete paigaldamist, korrashoiukohustuse eiramist jne), siis on vingugaasimürgistuse vältimiseks vajalik ja sobiv abinõu vingugaasimürgistuste vingugaasiandur kohustuslikuks teha. (Majandus- ja taristuminister, 2016)

„Vingugaasianduri kohustuslikkus on ajendatud eesmärgist ära hoida õnnetusjuhtumeid. Mõjutatud sihtrühm on kõik majapidamised, kus kasutatakse gaasiseadet, mille puhul on vingugaasiandur kohustuslik. Hetkel on Eestis hinnanguliselt 40 000 gaasiseadmega majapidamist. Täpsem ülevaade selle kohta, kas kõigis neist tuleks vingugaasiandur paigaldada, puudub. Vingugaasianduri keskmine hind on 33 eurot, seejuures võib vingugaasiandur vajada mõne aja pärast välja vahetamist (nende tööiga võib olla keskmiselt umbes 5 kuni 7 aastat). Hinna erinevused sõltuvad vingugaasianduri tehnilistest omadustest. Samuti erinevad vingugaasiandurid tundlikkuse alusel – kas tuvastavad juba madala või üksnes kõrge CO kontsentratsiooni. Samuti on olemas vingugaasiandureid, millele on ühtlasi lisatud ka suitsuandur (vingugaasiandur ei asenda suitsuandurit ja

vastupidi). Kui arvestada vingugaasianduri keskmise hinnaga, läheks vingugaasianduri paigaldamine maksma summaarselt 1 122 000 eurot. Tegemist ei ole siiski negatiivse kuluga, kuna vingugaasiandur võib päästa inimelu. Inimelu kaalub üles vingugaasianduri soetamise summaarse kulu“ (Majandus- ja taristuminister, 2016).

„Hoolimata sellest, et vingugaasianduri kohustuslikuks muutmise eesmärk on inimeste kaitse, ei ole gaasiseadme kasutamisel vingugaasi tekkimine ja surmajuhtumid siiski hetkel niivõrd rohkearvulised, sellest saaks järeldada demograafilist mõju. Euroopa Liidu liikmesriikides hukub vingugaasimürgistuse tõttu ca 2.2 inimest aastas 100 000-st. Surm vingugaasimürgistuse tõttu on statistiliselt enam levinud kui näiteks surm HIV/AIDS-i tõttu (2.0 hukkunud 100 000-st) ja veidi vähem kui alkoholi kuritarvituse tõttu (2.6 hukkunud 100 000-st). See üldine statistika ei erista enamikel juhtudel õnnetusjuhtumeid tahtlikest hukkamistest, ega ka erinevaid vingugaasi tekkimise allikaid. Gaasiseadmed on vaid üheks võimalikuks vingugaasi põhjustavaks allikaks. Eestis on gaasipõletusseadmetest tingitud vingugaasimürgistuse tõttu hukkunud viimase 10 aasta jooksul 10 (neist 4 hukkunud 2016 aastal). Enamikke vingugaasimürgistuse juhtumeid on võimalik ära hoida gaasiseadet korras hoides ja vingugaasianduri paigaldamisega. Lisaks surmajuhtumitele põhjustab sisse hingatavas õhus olev vingugaas ka muid terviseriske. Statistikat selle kohta on aga raske leida, kuna inimene ei pruugi haigusnähte seostada CO mürgistusega, samuti ei teavitata kergematest haigusnähtudest“ (Majandus- ja taristuminister, 2016).

2.VINGUGAASIANDURI EFEKTIIVSE KASUTUSKOHA ANALÜÜS

2.1. Uurimismetoodika

Töö eesmärgi saavutamiseks viiakse läbi kaks uuringut: müüdavate vingugaasiandurite ülevaade ning eksperimentaaluuring.

Turuülevaate koostamisel kasutatakse internetiotsingut, et tuvastada Eestis müügil olevad CO-andurid ning tehakse nende kohta võrdlusanalüüs, et selgitada välja:

- sensori tüüp,
- alarmeerimispõhimõte,
- toiteallikas,
- eluiga,
- suhteline niiskus;
- maksumus.

Eksperiment on katse, mis on läbi viidud kontrollitud tingimustes teadaoleva väite kontrollimiseks, hüpoteesi kehtivuse uurimiseks või millegi seniuurimata efektiivsuse kindlaksmääramiseks (Cook, *et al.*, 2002).

Eksperimentaaluuringu eesmärk on teha järeltõlge põhjus-tagajärg seoste kohta, milleks moodustatakse eksperimentaalgruppe ja võrreldakse neid. Uuringuks vajalikku infot kogutakse ettevalmistatud stsenaariumi alusel. Eesmärk on koguda teavet uuritavate objektide kohta uurija valitud ja loodud erinevates situatsioonides. (Järvet, 2017)

Eksperiment viiakse läbi kahes etapis: uuritavaks objektiks on ühte tüüpi erinevate tootjate vingugaasiandurid, mis paigaldatakse erinevatele kõrgustele ning jälgitakse nende tööd. Katsetakse vingugaasianduri erinevaid paigalduskohti, selgitades selle efektiivsus gaasiseadmega ruumis. Uurimistöö eksperiment teostati Sisekaitseakadeemia territooriumil, kus loodi merekonteinerisse väiksem ruum ning simuleeriti gaasiseadmega varustatud ruumis hapnikupuudust, mille tulemusena toimus mittetäielik põlemine ja tekkis vingugaas, ning mõõdeti kolmel erineval kõrgusel asetsevate vingugaasiandurite tööle rakendumist.

Kuna igapäevases elus on põhiline vingugaasi tekitaja ikkagi halva tõmbega gaasiboiler, mis tavaliselt asub vannitoas, oli eksperimendi ruumiks ehitatud vannitoaga sarnaste mõõtudega ruum laiusega 2,4 m, pikkusega 1,5 m ning kõrgusega 2,4 m. Ruum oli tehtud hermeetiliseks õhupuuduse simuleerimiseks. Gaasiseadmeks kasutati gaasipliiti.

Esimeses ja teises eksperimendis kasutati kolme ühesugust ElectroGEAR andurit erinevatel kõrgustel. ElectroGEAR andur oli ostetud BAUHAUS ehituspoest ning ostu hetkel oli ainuke vingugaasiandur selles poes. Samuti on ElectroGEAR andur kõige odavam ekraaniga vingugaasiandur. Kolmanda eksperimendi läbiviimiseks oli kasutatud kolme tootja vingugaasiandurit: Honeywell, Tesatek, ElectroGEAR. Honeywell XC70 andur on niiskuskindel ning sellist tüüpi andureid on ostnud Päästeamet. Tesatek 8280 andur on kõige odavam ning eksperimendi jaoks soetatud Decora ehituspoest.

Honeywell vingugaasianduri kasutusjuhendi järgi tuleb see kütteseadmega ruumi paigaldada järgnevalt (Tamrex Ohutuse OÜ, s.a.):

- See peab asuma lae lähedal, uksest ja aknast kõrgemal.
- Lakke monteeritav andur peab asuma seinast vähemalt 300 mm kaugusel, seinale paigaldatav andur vähemalt 150 mm kaugusel laest.
- Anduri peab potentsiaalse allika lähimast küljest asuma horisontaalsuunas 1–3 m kaugusel.

Kui andur on paigaldatud tuppa, kus kütteseadet ei ole, peab see asuma suhteliselt lähedal toas asuvate inimeste hingamistsoonile (Tamrex Ohutuse OÜ, s.a.).

Tesatek vingugaasianduri kasutusjuhendi järgi tuleb see paigaldada järgnevalt (Satcom OÜ, s.a.):

- Anduri võib paigaldada nii lakke kui ka seinale.
- Seinale ülemisele osale paigaldades peab lagi asuma andurist minimaalselt 30 cm kõrgemal. Põrandale lähedale paigaldades peab põrand asuma andurist minimaalselt 10 cm madalamal. Mõlemal puhul oleks parim, kui lähimad seinte nurgad asuksid andurist 2 kuni 4 meetri kaugusel.
- Lakke paigaldades on anduri maksimaalseks paigalduskõrguseks 6 m ning minimaalne kaugus lähimast seinast 30 cm.

- Soovitav paigalduskõrgus on inimese hingamiskõrgus, st u 50 cm magamistoas ja u 150 cm teistes tubades.

ElectroGEAR vingugaasianduri kasutusjuhendi järgi tuleb andur paigaldada kõrgusele 1,5 m põrandast (Kauppahuone Harju Oy, s.a.)

Lähtudes vingugaasianduri kasutusjuhendites toodud paigalduskõrgustest ning teoreetilises osas käsitletud soovitustest otsustati ekspedimendi käigus paigaldada vingugaasiandur kolmele kõrgusele: magamiskõrgusele – 70 cm põrandast, hingamiskõrgusele – 160 cm põrandast ning kõrgusele 220 cm.

Eksperimendil osalesid autor, juhendaja Kadi Luht ja kaasjuhendaja Alar Valge.

2.2. Vingugaasiandurite turuülevaade

Autor viis läbi uuringu töö hetkel Eestis müügil olevate vingugaasiandurite kohta teoreetilises osas kirjeldatud andurite põhiomaduste välja selgitamiseks. Võrdluse koostamisel kasutati kvantitatiivset sisuanalüüsi ning analüüsitavaks allikaks olid tootejuhendid ja/või sertifikaadid ja/või infolehed.

Uuringu käigus analüüsiti vingugaasiandurite peamisi näitajaid:

- sensori tüüpi,
- alarmeerimispõhimõtet,
- toiteallikat,
- eluiga,
- suhtelist niiskust;
- maksumust.

Uuringu tulemused on kajastatud Lisas 1 toodud võrdlustabelis.

2.3. Vingugaasianduritega eksperimendi käik

Antud eksperimendi eesmärgiks on katsetada vingugaasianduri erinevaid kasutuskohti gaasiseadmega ruumis. Eesmärgi saavutamiseks ehitati Sisekaitseakadeemia territooriumile merekonteinerisse (joonis 9) väiksem ruum mõõtudega 2,4 m x 1,5 m x 2,4 m ning simuleeriti gaasiseadmega varustatud ruumis hapnikupuudust ja mõõdeti kolmel erineval kõrgusel asetsevate vingugaasiandurite tööle rakendumist.



Joonis 9. Merekonteiner eksperimendi läbiviimiseks (autori tehtud)

Eksperimendi läbiviimiseks oli vaja:

- gaasiballoon 5kg,
- voolik,
- põleti,
- erinevate tootjate vingugaasiandurid,
- vaheseina ehitamiseks puitmaterjali koos kinnitustarvikute ja tööriistadega,
- polüuretaanvaht,
- vannitoakaal.

Eksperiment algas vaheseina ehitamisega konteinerisse, et tekitada ruum mõõtudega 2,4 m x 1,5 m x 2,4 m. Põranda, seinte ja lae vahelised vuugid tehti hermeetiliseks polüuretaanvahuga, et vältida värske õhu juurdevoolu ruumi ja

toimuks mittetäielik põlemine, mille tulemuseks on vingugaasi tekkimine. 1 kg propaani põlemiseks on vaja 23,8 m³ õhku (Talveri A., 2009). Ruumi maht on 8,64 m³, seega teoreetiliselt mittetäielikuks põlemiseks läheks vaja *ca* 350 g gaasi. Eksperimentides kasutati erineva võimsusega gaasipliite, mis ühendati gaasiballooniga.

Vaheseina sisse oli tehtud kolm kilega ja üks klaasiga kaetud akent, et jälgida andurite näite ning gaasipliidi tööle rakendumist ning puitliistu peale paigaldati vingugaasiandurit kõrgusele 70cm, 160cm, 220cm, nagu on näidatud joonisel 10.



Joonis 10. Vaheseina ehitamine merekonteinerisse ning vingugaasiandurite paigaldamine kolmele kõrgusele (autori tehtud)

Kokku tehti kolm eksperimenti:

1. Esimeses eksperimentis paigaldati gaasipliit Parker HK-21811 (võimsus 3,5 kW, gaasikulu 560 g/h) põrandale ning kasutati kolme ElectroGEAR vingugaasiandurit, mis paigaldati kolmele kõrgusele 70 cm, 160 cm, 220 cm.
2. Teine eksperiment oli korduv, kuna esimene ei andnud tulemust. Tingimused olid samad.
3. Kolmanda eksperimenti käigus kasutati suurema võimsusega 9,2 kW gaasipliiti Lincar HK-144179 (gaasikulu 669 g/h), mis oli paigaldatud kõrgusele 76 cm põrandapinnast, kolm ElectroGEAR andurit kõrgustele 70

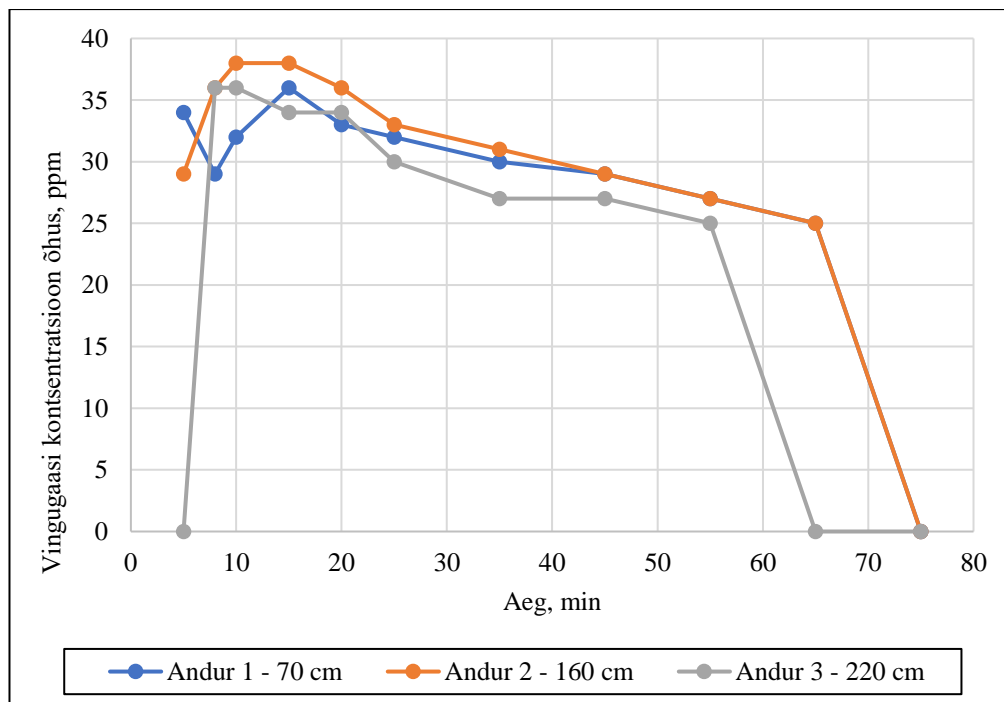
cm, 160 cm ja 220 cm ning üks Tesatek ja üks Honeywell andur hingamiskõrgusele 160 cm.

2.4. Eksperimendi tulemused

Eksperiment 1

Eksperimendi tulemused on näidatud joonises 11. Eksperiment kestis kaks tundi. Esimeses eksperimendis hakkas tekkima vingugaas (keskmine näit oli 30 ppm) umbes viie minuti pärast pärast gaasipliiti sisselülitamist, aga umbes tunni aja pärast läks näit nulli. Veel ühe tunni möödumisel jäigi näit nulli ehk siis vingugaasi rohkem ei tulnud ning ükski andur ei andnud signaali. Võib järeldada, et eksperiment ei andnud oodatud tulemust. Põhjuseks võib olla:

- gaasipliidi mustus, kuna seal varem valmistati toitu ja kui see põles läbi, kadus ka vingugaas;
- ehitatud ruum ei olnud piisavalt hermeetiline, mistõttu ei toimunud mittetäielikku põlemist;
- gaasipliidi mittepiisav võimsus.



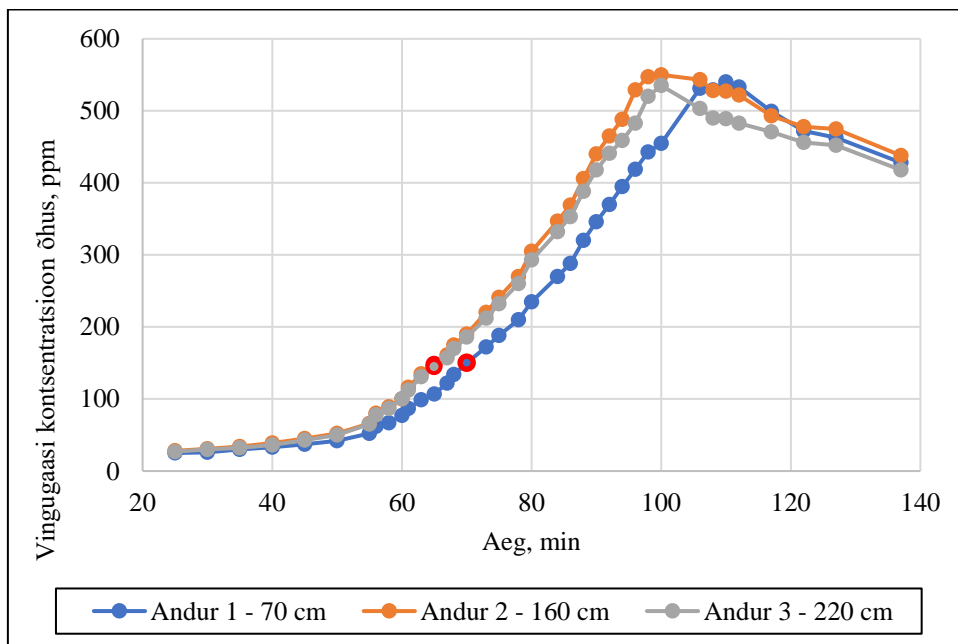
Joonis 11. Esimese eksperimendi tulemused (autori tehtud)

Ekspereiment 2

Kuna esimene eksperimeint ebaõnnestus ja selle üheks võimalikuks põhjuseks oli ruumi mittetäielik hermeetilisus, siis otsustati seda parandada. Ruumi seinte, lae ja põranda vahelised vuugid ning vooliku sisenemiskoht läbi seina muudeti uuesti hermeetiliseks polüuretaanvahu ja lisaks ka hermeetikuga. Muud tingimused jäid samaks.

Ekspereimendi kestus oli 2 tundi ja 17 minutit. Enne eksperimeinti algust oli ruumi õhu temperatuur kõrgusel 2,2 m põrandast 23 kraadi ning keskmine temperatuur katse jooksul oli 35 kraadi. Gaasiballooni kaal enne eksperimeinti algust oli 11,3 kg ning pärast 10,9 kg. 35 minutit pärast eksperimeinti algust kustus ära üks gaasipliidi põleti. 106. minutil lülitati gaas välja ning jälgiti vingugaasi kontsentratsiooni langemist. Gaasipliit oli paigaldatud põrandale.

Ekspereimendi tulemustest, mis on toodud joonises 12, on näha et vingugaasi maksimaalne kontsentratsioon oli rohkem kui 550 ppm, mis on ka maksimaalne väärtus, mida üldse saab arvestada vingugaasianduriga ElectroGEAR. ElectroGEAR andur annab häiret siis, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus on 150 ppm. Esimesena alarmeeris andur kõrgusel 160 cm, 32 sekundit hiljem alarmeeris andur kõrgusel 220 cm ning viis minutit hiljem kolmas andur, mis oli paigaldatud magamiskõrgusele 70 cm.



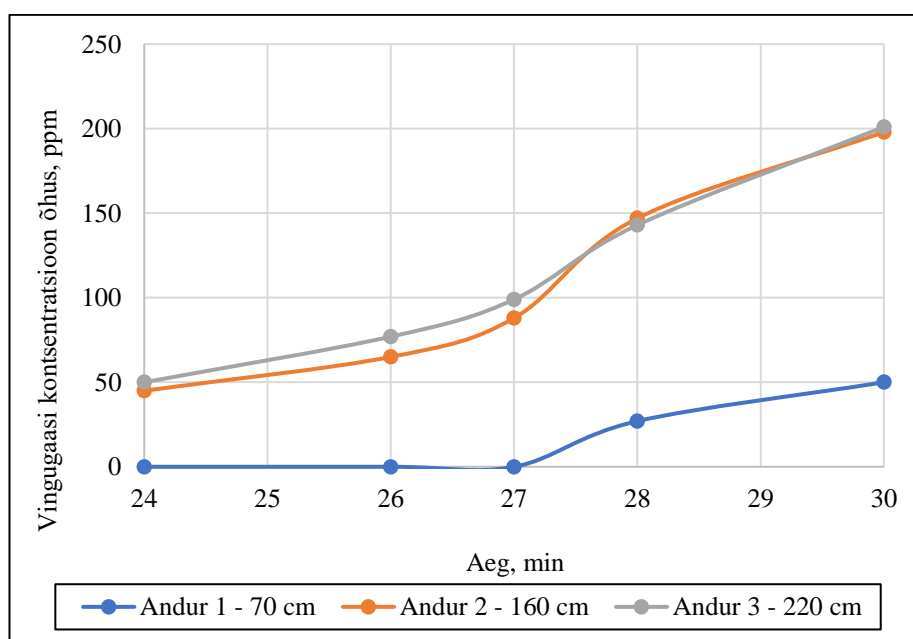
Joonis 12. Teise eksperimeinti tulemused (autori tehtud)

Kõik kolm andurit hakkasid tööle ligikaudu samal ajal, seda võis põhjustada asjaolu, et põleti oli põrandal ning seetõttu tarbiti ühtlaselt kogu ruumi õhku. Kuna põleti võimsus oli väike ning ruumi temperatuur oluliselt ei tõusnud, siis segunes vingugaas ruumis oleva õhuga ühtlaselt.

Eksperiment 3

Kolmandas eksperimendis kasutati suurema võimsusega gaasipliiti, mis oli tõstetud kõrgusele 76 cm põrandast, kaks lisaandurit — Tesatek ja Honeywell — paigaldati kõrgusele 160 cm põrandapinnast. Eksperimendi kestus oli 31 minutit, kuna ruumis põles ära kogu õhk ning põleti kustus. Enne eksperimendi algust oli ruumi õhu temperatuur kõrgusel 2,2 m põrandast 26 kraadi ning katse jooksul oli keskmine temperatuur kõrgusel 2,2 m põrandast 65 kraadi. Gaasiballooni kaal enne eksperimenti oli 11,0 kg ning pärast 10,7 kg. Eksperimendi käigus andsid ElectroGEAR ja Tesatek andurid häiret siis, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus oli vähemalt 150 ppm ning Honeywell andur kui vingugaasi kontsentratsioon õhus oli vähemalt 170 ppm.

Eksperimendi tulemused on toodud joonises 13. Tesatek ja Honeywell anduritel puudus ekraan CO-kontsentratsiooni jälgimiseks, seega ei olnud võimalust eksperimendi käigus järgida nende reageerimist vingugaasile ning oli võimalik ainult kuulda alarmi ja näha valgussignaali, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus jõudis väärtusele 150 ppm ja 170 ppm.



Joonis 13. Kolmanda eksperimendi tulemused (autori tehtud)

Eksperimendi tulemused on järgmised ning toodud tabelis 3, kust on näha, et esimesena andis häiret ElectroGEAR andur kõrgusel 220 cm, teisena ElectroGEAR andur kõrgusel 160 cm, kolmandana Tesatek, neljandana ja minut hiljem Honeywell andur. ElektroGEAR vingugaasiandur, mis oli paigaldatud kõrgusele 70 cm, ei andnud üldse häiret.

Eksperimendi tulemuste kohta saab välja tuua, et kõige madalamal paiknev andur ei tuvastanud vingugaasi, kuna paiknes madalamal kui põleti. Põleti võimsus oli nii suur, et soojendas põlemisjääke ja need tõusid ruumis kõrgemale ega segunenud seetõttu ruumi õhuga ühtlaselt.

Kõige odavam andur ei ole pärast eksperimenti enam töökorras.

Tabel 3. Vingugaasiandurite alarmeerimisaeg eksperimendi käigus (autori tehtud)

Vingugaasianduri alarmeerimisaeg, min	Vingugaasianduri tootja ja paigalduskõrgus
27:47	ElectroGEAR (220 cm)
27:58	ElectroGEAR (160 cm)
28:02	Tesatek (160 cm)
28:47	Honeywell (160 cm)

3. JÄRELDUSED

Lõputöö empiirilises osas viidi läbi kaks uuringut: müüdavate vingugaasiandurite ülevaade ning eksperimentaaluurim. Autor toob iga uuringu kohta eraldi välja järeldused.

Analüüsidest Eesti turul müüdavate vingugaasiandurite valikut, võib esile tuua sellised järeldused:

- Kõik müügil olevad vingugaasiandurid on elektrokeemilised.
- Niiskuskindlate vingugaasiandurite valik on piiratud, neid toodab ainult Honeywell.
- Kõige levinum häire andmise viis on audio-visuaalne (heli ning punane märgutuli).
- Toiteallikaks on kas vahetatav patareid või sisseehitatud aku.
- Andurite tööiga on 3 kuni 10 aastat.
- Vingugaasiandurite maksumus varieerub vahemikus 15 € kuni 50 €.

Katsete käigus kasutati kolme tootja vingugaasiandurit: Honeywell, Tesatek, ElectroGEAR. Honeywell XC70 andur on niiskuskindel ning võimaldab salvestist kontrollida mobiilirakenduse abil. Tesatek 8280 andur on kõige odavam. ElectroGEAR andur on kõige odavam ekraaniga vingugaasiandur.

Hinnates nende andurite kasutusmugavust eksperimentides võib teha järgnevad kokkuvõtteid:

- Ekraaniga andur on parem, kui ilma ekraanita andur. Ekraanilt saab näha vingugaasi kontsentratsiooni õhus ka madalal tasemel ning vajadusel näiteks tuulutada ruum enne kui vingugaasi kontsentratsioon jõuab kriitilise tasemeni ning vingugaasiandur annab häiret. Järelikult oleks ElectroGEAR ekraaniga andur selles mõttes parem.
- Vingugaasi kontsentratsiooni langemisel alla 150 ppm-i, lõpetavad ElectroGEAR ning Tesatek andurid häire andmise, Honeywell aga mitte. Ta ei anna häiret nii tugevalt kui suure ohu korral, aga jääb piiksuma.
- Honeywell andurit on ebamugav seinale kinnitusploaadist ära võtta, kui tekib vajadus seda välja lülitada.
- ElectroGEAR ja Tesatek andurid annavad häiret siis, kui vingugaasi kontsentratsioon jõuab tasemeni 150 ppm, Honeywell aga siis, kui tase on

170 ppm. Kolmas eksperiment näitas, et kui paigaldada need kolm andurit ühele kõrgusele, annab Honeywell andur häiret üks minut hiljem.

- Tesatek andur annab häiret 120 minuti pärast, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus on 30 ppm (Satcom OÜ, s.a.). Kuna anduril puudub ekraan ja ei ole võimalik vaadata kui suur osakeste sisaldus õhus on, siis häire võib tekitada inimesel segadust ja ta hakkab evakueeruma, kuigi sellisel vingugaasi kontsentratsiooni juures oleks mõistlikum avada aken. Honeywell andur annab häiret 60-90 minuti pärast, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus on 50 ppm ning sellel läheb põlema sinine nupp, mis tähendab, et tuleb ruumi tuletada (Tamrex Ohutuse OÜ, s.a.). Jällegi ei pruugi inimene alarmi korral jõuda vaadata, mis värvi nupp põleb, kuna eeldatavasti tekib paanika ja hakatakse koheselt evakueeruma. Pikemaajaliste madalamate kontsentratsioonide kontrollimiseks on vajalik viia läbi eraldi eksperimendid.
- Honeywell ja Tesatek anduritel on liiga pikk ja raskesti arusaadav kasutusjuhend. Anduri ElectroGEAR kasutusjuhend on väga lakooniline, mahub ühele lehele.
- Kui puudub vajadus kasutada niiskuskindlat vingugaasiandurit, siis kõige odavam ekraaniga ElectroGEAR vingugaasiandur maksumusega 17 € oleks heaks lahenduseks ning eeldatavasti oleks tavakasutajale mugav, arusaadav ja taskukohane.
- Tesatek andur ei tööta hiljem, kui testnupule vajutada.

Empiirilises osas tehti kokku kolm eksperimenti, mille eesmärgiks oli katsetada vingugaasianduri erinevaid kasutuskõrgusi gaasiseadmega ruumis, ning selleks ehitati väiksem ruum mõõtudega 2,4 m x 1,5 m x 2,4 m, kus simuleeriti gaasiseadmega varustatud ruumis hapnikupuudust ja mõõdeti põrandast kolmel erineval kõrgusel 70 cm, 160 cm ning 220 cm asetsevate vingugaasiandurite tööle rakendumist.

Analüüsides eksperimentidest saadud tulemusi, võib teha järeldused, et:

- Otstarbekam on panna vingugaasiandur hingamiskõrgusele umbes 160 cm ja kõrgemale, kuna just sellel kõrgusel reageerisid andurid kõige kiiremini.

- Teises eksperimendis andis magamiskõrgusel 70 cm asuv vingugaasiandur häiret viis minutit hiljem kui andur kõrgusel 160 cm, kus sellel hetkel oli vingugaasi kontsentratsioon õhus juba 190 ppm. Eksperimendist tuleb välja, et kui inimene peaks voodist püsti tõusma, puutuks ta kohe kokku suurema vingugaasi kontsentratsiooniga, mistõttu võib tervise seisund halveneda, mis võib omakorda mõjutada inimese reageerimis- ja evakueerimisaega. Järelikult ei tohiks vingugaasiandurit paigaldada magamiskõrgusele 70 cm põrandast.
- ElectroGEAR ja Tesatek annavad häiret siis, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus on 150 ppm ning Honeywell siis, kui vingugaasi kontsentratsioon õhus on 170 ppm. Viimast näitas kolmas eksperiment, mille käigus Honeywell andur reageeris üks minut hiljem kui teised andurid samal kõrgusel.

KOKKUVÕTE

Lõputöö eesmärk oli selgitada välja vingugaasianduri efektiivne kasutuskõrgus gaasiseadmega eluruumis. Antud eesmärgi saavutamiseks viis autor läbi kaks uuringut: Eestis turul müüdavate vingugaasiandurite ülevaade ning eksperimentaaluuring. Eksperimentaaluuringu eesmärgiks oli katsetada vingugaasianduri erinevaid kasutuskõrgusi gaasiseadmega ruumis.

Esimese uurimisülesandena analüüsis autor vingugaasi olemust, selle tekkimise erisusi, ohtlikkust ning mõju inimese tervisele.

Teise uurimisülesandena analüüsis autor vingugaasiandurite tööpõhimõtteid puudutavaid teoreetilisi lähtekohti.

Kolmanda uurimisülesandena viis autor läbi Eestis müüdavate vingugaasiandurite analüüsi tootja, sensori tüübi, häire andmise viisi, toiteallika, eluea ja maksumuse alusel ning hindas eksperimentides kasutatud kolme tootja andurite kasutusmugavust. Analüüsi ja katsete käigus selgus, et otstarbekam on kasutada kõige odavamast ekraaniga andurit.

Neljanda uurimisülesandena tegi autor katseid gaasiseadmega ruumi erinevatele kõrgustele paigaldatud vingugaasiandurite tööle rakendumise kohta. Selleks ehitati väiksem ruum, kuhu paigaldati gaasiseade ning vingugaasiandurid kolmele kõrgusele: magamiskõrgusele 70 cm, hingamiskõrgusele 160 cm ning 220 cm kõrgusele põrandast.

Viienda uurimisülesandena tegi lõputöö autor järeldused saadud eksperimentide tulemustest ning selgus, et kõige efektiivsemaks vingugaasianduri paigalduskõrguseks on 160 cm põrandapinnast ja üle selle.

SUMMARY

The aim of the thesis was to find out the effective mounting height of the carbon monoxide detector in the dwellings with gas appliance. In order to achieve this goal, the author conducted two surveys: an overview of carbon monoxide sensors sold on the Estonian market and an experimental research. The aim of the experimental research was to test the effective mounting height of the carbon monoxide alarm in the room with the gas appliance.

As the first research task, the author analyzed the nature of the carbon monoxide, the specificities of its formation, its hazardousness and how it affects human health.

As a second research task, the author looked at the theory of the working principles of the carbon monoxide sensors.

As a third research task, the author conducted an analysis of carbon monoxide sensors sold in Estonia by manufacturer, sensor type, alarm mode, power source, lifetime and cost, and evaluated the ease of use of the three manufacturers sensors used in the experiments. The analysis and tests revealed that it is more appropriate to use the cheapest one.

As the fourth research task, the author tests the different mounting heights of the carbon monoxide alarm in a room with a gas appliance. In order to this test, a smaller room was built with a gas appliance installed and a carbon monoxide sensor were placed at three mounting heights: 70cm, 160cm and 220cm.

As the fifth research task, the author of the thesis made the conclusions derived from the results of experiments obtained and found that the most effective mounting height of the carbon monoxide sensor is 160cm above the floor level and higher.

VIIDATUD ALLIKATE LOETELU

Афанасиев Д., Бардакова Е., Быстряков Д., 2016. Аналитический обзор датчиков летучих веществ для интернета вещей. *Информационные технологии и телекоммуникации*, 4, pp. 2-11.

Balti Tuleohutus OÜ, s.a. *Vingugaasiandur, kasutamise, paigaldus.* [Võrgumaterjal]

Leitav: <https://www.suitsuandur.ee/p/vingugaasiandur> [Kasutatud 22.01.2019].

Cook, T. D. C., Shadish, W. D. & Campbell, D. T., 2002. *Experimental and Quasiexperimental Designs for Generalized Causal Inference*. Boston, New York: Houghton Mifflin.

Ежова Н.В., 2002. Педиатрия: учебное пособие для студентов медицинских институтов.

Golob N., Grenc D., Brvar M., 2018. Carbon monoxide poisoning in wood pellet storerooms. *Occupational Medicine*, 68, pp. 143-145.

Braubach M., Algoet A., Beaton M., Lauriou S., Heroux M.-E., Krzyzanowski M., 2013. Morality associated with exposure to carbon monoxide in WHO European Member States. *Indoor Air*, 23, pp. 115-125.

Järvet, S., Saar I., Valk A., Kratovitš M., Tamm L., Loik R., Karu T., Toom K., Kroonberg R., Mäe V., Lees M., Elling T., Silberg U., 2017. *Üliõpilastööde koostamise ja vormistamise juhend.* [Võrgumaterjal]

Available at: https://www.sisekaitse.ee/sites/default/files/inlinefiles/Uliopilastööde_koostamise_ja_vormistamise_juhend.pdf [Kasutatud 27.04.2019].

Kauppuhuone Harju Oy, s.a. *Häkävaroitin LCD-näytöllä 3xAA paristokäyttöinen.* [Võrgumaterjal]

Available at: <https://www.harju.fi/plugin/ekauppa/esite/esite.php?pcode=93607> [Kasutatud 27.04.2019].

Majandus- ja taristuminister, 2016. *Määruse nr 87 „Küttegaasi kasutavale gaasipaigaldisele, selle ehitamisele ja gaasiseadme paigaldamisele ning gaasiballooni ladustamisele ja gaasianuma täitmisele esitatavad nõuded“ muutmise seletuskiri.* [Võrgumaterjal]

Leitav: <http://eelvoud.valitsus.ee/main/mount/docList/3dc911cc-ab15-4433-940a-d487eb51113d?activity=1#iOw7Dk6z> [Kasutatud 22.01.2019].

McKenzie L.B., Roberts K.J., Shields W.C., McDonald E., Omaki E., Abdel-Rasoul M., Gielen A.C., 2017. Distribution and Evaluation of a Carbon Monoxide Detector Intervention on Two Settings: Emergency Department and Urban Community. *Journal of Environmental Health*, 68(9), pp. 24-30.

ON24 AS, 2019. *Köögitehnika.* [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.on24.ee/sisustus/k%C3%B6k/k%C3%B6gitehnika> [Kasutatud 28.04.2019].

Opekar F., Štulík K., 1998. Electrochemical sensors with solid polymer electrolytes. *Analytica Chimica Acta*, 385, pp. 156-160.

Pannek, C., Tarantik K.R., Schmitt K., Wöllenstein J., 2014. Investigation of Gasochromic Rhodium Complexes Towards Their Reactivity to CO and Integration into an Optical Gas Sensor for Fire Gas Detection. *Sensors*, 18, pp. 3-5.

Päästeamet, 2018. *Gaasiga seotud väljakutsete arv on kasvanud.* [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.rescue.ee/et/uudised/gaasiga-seotud-vaeljakutsete-arv-on-kasvanud-150> [Kasutatud 22.01.2019].

Päästeamet, 2019. *Kodu tuleohutus.* [Võrgumaterjal] Leitav: <http://kodutuleohutuks.ee/vingugaasiandur/> [Kasutatud 22.01.2019].

Raub J., Mathieu-Nolf M., Hampson NB., Thom SR., 2000. Carbon Monoxide poisoning a public health perspective. *Toxicology*, 145(1), pp. 1-14.

Research Methods Knowledge Base, 2014. *Web Center for Social Research Methods*. [Võrgumaterjal] Leitav: <http://www.socialresearchmethods.net/kb/index.php> [Kasutatud 25.02.2019].

Ryan TJ., Arnold KT., 2011. Residential carbon monoxide detector failure rates in the United States. *Am J Public Health*, 101(10), p.16.

Satcom OÜ, s.a. *Elektrokeemilise vingugaasianduri Tesatek Expert kasutusjuhend* Art.No.: 8280. [Võrgumaterjal] Leitav: <http://www.satcom.ee/media/satcom/product/Elektrimaterjal/8280%20kasutusjuhend.pdf> [Kasutatud 27.04.2019].

Schmitt, K.; Tarantik, K.R.; Pannek, C.; Woellenstein, J., 2018. Colorimetric Materials for Fire Gas Detection—A Review. *Chemosensors*, 6(2), pp. 2-14.

Tamrex Ohutuse OÜ, s.a. *Honeywell XC seeria CO-anduri kasutusjuhend*. [Võrgumaterjal] Leitav: <http://meedia.tamrex.eu/pdf/andur/honeywell-x-seeria-19.pdf> [Kasutatud 27.04.2019].

Talvari A., 2009. *Põlevainete omadused*. [Võrgumaterjal] Leitav: https://digiriidul.sisekaitse.ee/bitstream/handle/123456789/353/Polev_Omadused_Talvari.pdf?sequence=1&isAllowed=y [Kasutatud 27.04.2019].

Tehnilise Järelevalve Amet, s.a. *Gaasiohutuse meelespea kodutarbijale*. [Võrgumaterjal] Leitav: <https://www.tja.ee/et/gaasiohutuse-meelespea> [Kasutatud 22.01.2019].

Тристенъ, К.С., 2010. Информированность студентов педагогического факультета и родителей дошкольников об оказании доврачебной помощи при отравлении угарным газом.

Воитович, Т.Н., 1992. Этиологические и патогенетические факторы развития и течения повторных респираторных заболеваний у детей.

16662, s.a. *Vingugaasimürgistus*. [Võrgumaterjal]

Leitav: <https://www.16662.ee/est/mrgistusriskid/vingugaasimuergistus/>

[Kasutatud 16.05.2019].

Lisa 1. Vingugaasiandurite turuülevaade

Tabel 2. Vingugaasiandurite turuülevaade (autori koostatud)

Tootja	Mudel	Sensori tüüp	Alarmeerimise viis	Toiteallikas	Suhteline õhuniiskus	Tööiga	Maksumus
FireAngel	CO-9B	EK	Audio-visuaalne	Patarei	30-90% #	7 aastat	19 €
FireAngel	9D-NEUT	EK	Audio-visuaalne	Patarei	30-90% #	7 aastat	34 €
Honeywell	XC70	EK	Audio-visuaalne, veateade, hooldusteade (indikaator)	Sisseehitatud aku 7 aastat	25-95% *	7 aastat	30-49 €
Honeywell	XC100	EK	Audio-visuaalne, veateade, hooldusteade (indikaator)	Sisseehitatud aku 10 aastat	25-95% *	10 aastat	39 €
Honeywell	XC100D	EK	Audio-visuaalne, veateade, hooldusteade (indikaator), patareide indikaator, CO taseme indikaator	Sisseehitatud aku 10 aastat	25-95% *	10 aastat	50 €
Kidde Digital Compact	7DCO	EK	Audio-visuaalne	Patarei	Kuni 90%	10 aastat	39 €
Tesatek	8280	EK	Audio-visuaalne	Patarei	20-90% #	3 aastat	15 €
EstAlert	CO99D	EK	Audio-visuaalne	Patarei	0-90% #	7 aastat	20 €

Mercury	COD100B	EK	Audio-visuaalne, patareide indikaator, CO taseme indikaator	Patarei	0-90% #	7 aastat	25 €
ElectroGEAR	B	EK	Audio-visuaalne, patareide indikaator, CO taseme indikaator	Patarei	0-90% [£]	7 aastat	17 €

EK- elektrokeemiline; *- IP44, sobib ka niiskesse ruumi; #– ei tohi paigaldada vannituppa; [£] – Andur peaks olema paigaldatud vähemalt kolme meetri kaugusele vannist, dušist või pesumasinast